

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 195 41 020 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 195 41 020.3  
㉑ Anmeldetag: 3. 11. 95  
㉒ Offenlegungstag: 7. 5. 97

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 S 3/093**  
H 01 S 3/081  
H 01 S 3/08  
H 01 S 3/23  
H 01 S 3/18  
H 01 S 3/109  
H 01 S 3/042  
H 01 S 3/0941

DE 195 41 020 A 1

⑦① Anmelder:

Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,  
DE; Micro Systems Design Dr. Altmann GmbH,  
80639 München, DE

⑦② Erfinder:

Altmann, Konrad, Dipl.-Phys. Dr., 80639 München,  
DE; Halldorsson, Thorsteinn, Dipl.-Phys., 81925  
München, DE

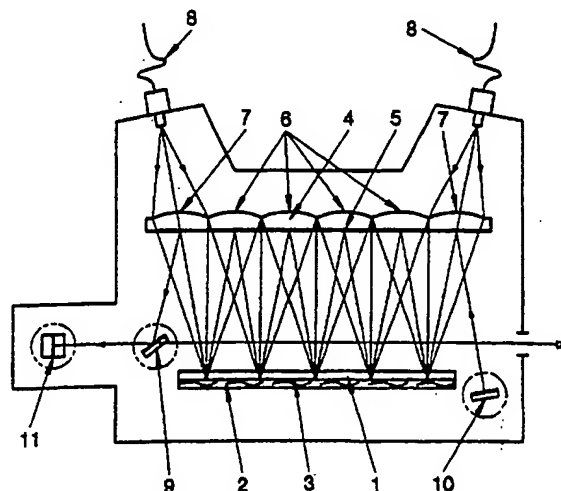
⑤⑥ Entgegenhaltungen:

DE 40 39 882 A1  
US 52 71 031 A  
US 49 24 474  
US 43 83 318

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Laserverstärkersystem

⑤⑦ Es wird ein Laserverstärkersystem mit laseraktivem Festkörpermateriale, das durch Pumplichtquellen gepumpt wird, vorgeschlagen, bei dem einer oder mehrere Pumpstrahlen mit Hilfe von Spiegeln oder anderen optischen Hilfsmitteln so geführt werden, daß jeder einzelne Pumpstrahl mehrmals auf unterschiedliche Stellen des Festkörpermateriale fokussiert wird, wobei letzteres in Form eines zusammenhängenden oder getrennter Festkörper vorliegt, die so gestaltet sind, daß der Pumpstrahl in den Fokalbereichen und nur in diesen absorbiert wird, wodurch letztere optisch gepumpt werden, und daß der Laserstrahl so umgelenkt und geführt wird, daß er all diese Fokalstellen durchstrahlt und auf diese Weise verstärkt wird.  
Damit wird ein Laserverstärkungssystem geschaffen, bei dem die Systemeigenschaften gleichzeitig optimiert werden, das außerdem eine kompakte Bauweise erlaubt und so gestaltet ist, daß es sich für eine kostengünstige Massenproduktion eignet.



DE 195 41 020 A 1

Die Erfindung betrifft ein Laserverstärkersystem mit einem oder mehreren in einem Strahlungsfeld angeordneten Festkörpern aus laseraktiven Materialien, die durch Pumplichtquellen optisch gepumpt werden, wobei als Pumplichtquellen bevorzugt Laserdioden dienen.

Derartige Laserverstärkersysteme, die meist durch Einbringen in einen optischen Resonator als Laser ausgebildet sind, entsprechen in unterschiedlichen Ausführungsformen dem Stand der Technik. Dabei wird versucht, den gestellten Anforderungen, nämlich gute Überlappung zwischen Pump- und Laserstrahl, effiziente Kühlung des laseraktiven Materials und hohe Strahlqualität mit Hilfe unterschiedlicher Anordnungen gerecht zu werden. Meist wird jedoch die für ein derartiges System wesentliche, gleichzeitige Optimierung aller Systemeigenschaften nicht erreicht. So ist z. B. aus den US Patenten 4,785,459 und 4,837,771 ein Laser bekannt, bei dem der Strahl zickzackförmig zwischen den Begrenzungsflächen eines Kristallblocks hin- und herreflektiert wird, wobei jeweils an den Auftreffstellen des Strahls Laserdiodenarrays angeordnet sind, durch die das Material optisch gepumpt wird. Dadurch wird zwar eine gute Überlappung von Pump- und Laserstrahl erreicht, eine optimale Kühlung der gepumpten Stellen jedoch beeinträchtigt.

Weiter ist aus der Europäischen Patentanmeldung 0 632 551 A1 ein Laserverstärkersystem bekannt, bei dem der Pumpstrahl mehrmals auf den Mittelpunkt eines Plättchens aus laseraktivem Material gelenkt wird, das relativ zum Durchmesser eine geringe Dicke besitzt, um eine möglichst rasche Ableitung der entstehenden Wärme zu gewährleisten und dadurch die Temperatur des Plättchens niedrig zu halten. Letzteres wird auf diese Weise jedoch nur in eingeschränktem Umfang erreicht, da bei dieser Anordnung die gesamte Pumpleistung in einem sehr kleinen Volumenbereich absorbiert wird, der entsprechend dem Produkt aus Fläche des Fokalflecks und Dicke des Plättchens typischerweise eine Größe von  $0.1 \text{ mm}^3$  bis  $0.5 \text{ mm}^3$  hat.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die erwähnten Probleme zu vermeiden und ein Laserverstärkungssystem der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, bei dem die oben beschriebenen Systemeigenschaften gleichzeitig optimiert werden, das außerdem eine kompakte Bauweise erlaubt und so gestaltet ist, daß es sich für eine kostengünstige Massenproduktion eignet.

Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst. In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen angegeben.

In der nachfolgenden Beschreibung wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen erläutert. Die Figuren ergänzen diese Erläuterungen. Es zeigt:

Fig. 1. ein Schemabild eines Ausführungsbeispiels eines Laserverstärkersystems nach den Ansprüchen 1, 2 und 16,

Fig. 2. ein Schemabild eines Ausführungsbeispiels eines Laserverstärkersystems nach den Ansprüchen 1, 2 und 17,

Fig. 3. ein Schemabild eines Ausführungsbeispiels eines Laserverstärkersystems nach den Ansprüchen 1, 2 und 10,

Fig. 4. ein Schemabild eines Ausführungsbeispiels eines Laserverstärkersystems nach den Ansprüchen 1, 2 und 11.

Fig. 5 eine Anordnung, bei der zwei entsprechend Fig. 1 ausgebildete Laserverstärkersysteme gekoppelt sind.

Fig. 6 eine Anordnung, bei der sechs entsprechend Fig. 1 ausgebildete Laserverstärkersysteme gekoppelt sind, wobei nur das erste als Laser ausgebildet ist, während die übrigen den aus letzterem austretenden Strahl verstärken.

Der Grundgedanke der Erfindung wird im folgenden anhand des in Fig. 1 skizzierten Ausführungsbeispiels erläutert. Eine planparallele Platte 1 aus laseraktivem Material, das z. B. für den Betrieb eines 3- oder eines 4-Niveau Lasers geeignet ist, und je nach Dotierung und Wärmeleitungskoeffizient etwa  $0.1$  bis  $1 \text{ mm}$  dick,  $1$  bis  $5 \text{ mm}$  breit und  $5$  bis  $20 \text{ mm}$  lang ist, wird an der Unterseite durch ein strömendes Medium 2 gekühlt. Die Platte ist an der Unterseite 3 sowohl für die Laserstrahlung als auch für die Pumpstrahlung hochreflektierend an der Oberseite dagegen für beide Strahlungsarten antireflektierend beschichtet. In einem Abstand von etwa  $1-30 \text{ mm}$  über dieser Platte befindet sich ein optisches Element 4 aus einem Material, das für die Pumpstrahlung transparent ist und einen Brechungsindex besitzt, der größer als derjenige des umgebenden Mediums (in vorliegendem Beispiel Luft) ist. Die untere Begrenzungsfläche 5 dieses Elements ist eben und so beschichtet, daß sie für die Pumpstrahlung hochtransparent ist, während die obere Begrenzungsfläche aus nebeneinander in Serie angeordneten astigmatisch-sphärischen Flächen 6 besteht. Von diesen Flächen sind die äußerste rechte 7 und die äußerste linke 7 hochtransparent die übrigen dagegen hochreflektierend für die Pumpstrahlung. Die astigmatisch-sphärischen Flächen 7 bilden somit mit der Fläche 5 zwei Linsen. Durch diese werden die aus den Wellenleitern 8 austretenden Pumpstrahlen auf die Platte 1 fokussiert, wobei der Mittelstrahl mit der Platte 1 einen Winkel bildet, der etwa dem halben Öffnungswinkel des aus dem Wellenleiter austretenden Strahls entspricht. Sodann werden die Pumpstrahlen an der Unterseite 3 der Platte 1 reflektiert und auf die von rechts bzw. von links am nächsten gelegenen sphärischen Flächen 6 gelenkt. Diese wirken als Hohlspiegel und fokussieren die Pumpstrahlen erneut auf von rechts und links weiter innen gelegene Stellen der Platte, deren Abstand von den beiden ersten Fokalbereichen durch den Auftreffwinkel und den Abstand der Flächen 3 und 5 festgelegt ist. Von dort werden die Pumpstrahlen erneut gegen weiter innen gelegene Flächen 6 gelenkt und so fort. Auf diese Weise werden die Pumpstrahlen zickzackförmig zwischen den Hohlspiegeln 6 und der Fläche 3 hin- und herreflektiert, wobei der Pumpstrahl nach und nach in der Platte 1 absorbiert wird, deren Dicke so gewählt ist, daß diese Absorption nur in den Fokalbereichen der Pumpstrahlung erfolgt. Um den Laserstrahl durch diese Fokalbereiche zu lenken, wird dieser ebenfalls zickzackförmig hin- und herreflektiert, jedoch zwischen den Flächen 3 und 5. Um letzteres zu erreichen ist die Fläche 5 im Bereich der Auftreffstellen des Laserstrahls für letzteren hochreflektierend beschichtet. In den Bereichen, welche den Fokalbereichen der Pumpstrahlung gegenüberliegen, ist die Fläche 5 jedoch für die Laserstrahlung durchlässig, um ein Anschwingen parasitärer Moden zu vermeiden.

Eine Weiterbildung des eben beschriebenen Laserverstärkersystems besteht darin, daß dieses durch Hinzufügen der Resonatorendspiegel 9 und 10 zu einem Laser vervollständigt wird.

Eine zusätzliche Weiterbildung des Systems besteht

darin, daß zum Zweck der Frequenzverdopplung oder Verdreifachung ein oder mehrere nichtlineare optische Elemente 11 oder oder andere optische Funktionselemente in den Strahlengang eingebracht werden.

Fig. 2 zeigt das Schemabild eines Ausführungsbeispiels, bei dem das Laserverstärkersystem durch Spiegel 12 und 13 so ergänzt wird, daß ein Ringresonator entsteht. Vorteil dieser Anordnung ist, daß das bei einem Resonator mit Endspiegeln auftretende sog. "spatial hole-bourning" vermieden wird. Das Element 21 stellt eine optische Diode dar.

Fig. 3 zeigt das Schemabild eines Ausführungsbeispiels, bei dem die Platte 1 in einzelne kleine Plättchen 14 aufgeteilt ist, die durch eine Trägerplatte 15 gehalten werden. Letztere wird bevorzugt aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit erstellt, um auch die seitlichen Flächen der Plättchen zu kühlen. Vorteil dieser Anordnung ist, daß eine geringere Menge des teuren laseraktiven Materials benötigt wird. Außerdem kann bei der Herstellung der kleinen Plättchen eine größere optische Homogenität garantiert werden.

Als zusätzliche Weiterbildung wird vorgeschlagen, das laseraktive Material abhängig von dessen Wärmeleitfähigkeit auch an der Oberseite zu kühlen, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist.

Weiter wird vorgeschlagen, abhängig von den Materialeigenschaften das System dahingehend zu vereinfachen, daß auf die direkte Flüssigkeitskühlung des laseraktiven Materials verzichtet wird. Fig. 4 zeigt das Schemabild eines Ausführungsbeispiels, bei dem die Plättchen 14 an der Unterseite in wärmeleitenden Kontakt mit einer Trägerplatte 16 gebracht sind, die von Kühlkanälen 17 durchzogen ist.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung wird einerseits erreicht, daß das laseraktive Material dünn gehalten werden kann und die Wärmeableitung unmittelbar an den Absorptionsstellen des Pumpstrahls nahezu über die gesamte Oberfläche der Platte 1 bzw. der Plättchen 14 erfolgen kann. Gleichzeitig wird vermieden, daß die Absorption der gesamten Pumpleistung in einem zusammenhängenden Volumenbereich erfolgt, der deshalb schwer zu kühlen ist, wie dies bei herkömmlichen frontal gepumpten Lasersystemen der Fall ist. Letzteres gilt auch für die bereits erwähnte Europäische Patentanmeldung 0 632 551 A1, wenn auch hier die Absorption in einem sehr kleinen Volumenbereich erfolgt. Praktisch wird bei der erfindungsgemäßen Anordnung der Temperaturgradient und damit auch die Temperatur in den Plättchen gegenüber der 0 632 551 A1 um einen Faktor gesenkt, welcher der Anzahl der durchstrahlten Fokalebereiche entspricht. Dies ist insbesondere im Falle von 3-Niveau oder Quasi-3-Niveau Lasern von entscheidender Bedeutung für die Effizienz der Leistungsumwandlung, da hier das untere Laserniveau thermisch besetzt ist. Außerdem läßt sich die Anordnung der Reflexionspiegel in einer Reihe technisch leichter realisieren und justieren als deren räumliche Anordnung, wie sie z. B. in Fig. 28 der Schrift 0 632 551 A1 benutzt wird. Auf die thermische Linsenwirkung des laseraktiven Materials wird bewußt nicht verzichtet, wie dies im Hauptanspruch und in der Beschreibung Absatz 3 der Schrift 0 632 551 A1 ausdrücklich durch die Forderung geschieht, daß sich das Laserstrahlungsfeld nahezu parallel zum Temperaturgradienten ausbreiten soll. Im Gegenteil, es ist vorgesehen, die in der Platte 1 bzw. den Plättchen 14 durch die Pumpstrahlung, die thermische Dispersion des Brechungskoeffizienten und die thermische Verformung induzierte thermische Linse und deren fokussie-

rende Wirkung auf den Laserstrahl und dessen Durchmesser so anzupassen, daß innerhalb der Fokalebereiche eine optimale Überlappung zwischen dem Pump- und dem Laserstrahl bzw. dem transversalen Grundmode des Resonators erreicht wird. Diese Anpassung wird durch die Wahl der Dicke und des Absorptionskoeffizienten der Platte bzw. der Plättchen erreicht, was bei der vorliegenden Anordnung eine sehr feine Abstimmung ermöglicht. Die Benutzung der thermischen Linsenwirkung hat den Vorteil, daß die Flächen 3 und 5, zwischen denen der Laserstrahl hin- und herreflektiert wird, exakt eben ausgebildet werden können, wodurch der Justieraufwand erheblich reduziert wird. Sollte für gewisse Lasermaterialien die fokussierende Wirkung der thermischen Linsen nicht ausreichen, so wird vorgeschlagen diese durch die Benutzung gewölbter anstatt ebener Resonatorspiegel 9 und 10 bzw. 12 und 13 zu verstärken. Sollte eine weitere Bündelung des Laserstrahls notwendig sein, so wird vorgeschlagen, die Reflexionsflächen 3 und 5 im Bereich der Auftreffstellen des Laserstrahls in geeigneter Weise zu wölben, um auf diese Weise eine zusätzliche fokussierende Wirkung auf den Laserstrahl auszuüben.

Fig. 5 zeigt eine Anordnung, bei der zwei entsprechend Fig. 1 ausgebildete Laserverstärkersysteme zu einem Laser mit Frequenzverdopplung zusammengekopelt sind. Das System ist in der Lage, mit Hilfe derzeit zur Verfügung stehenden Laserdioden etwa 40 bis 50 Watt Ausgangsleistung zu liefern.

Fig. 6 zeigt eine Anordnung, bei der sechs der oben beschriebenen Systeme gekoppelt sind. Von diesen ist das System links oben mit Hilfe der Spiegel 18 und 19 als Laser ausgebildet, die übrigen arbeiten als Laserverstärker, indem sie den durch den Spiegel 19 ausgekoppelten Strahl verstärken. Dies hat den Vorteil, daß sich der Justieraufwand der Anordnung reduziert, da der Strahl nicht die gesamte Anordnung mehrfach durchläuft wie bei einer Resonatoranordnung. Die Führung des aus dem als Laser arbeitenden Teilsystem austretenden Strahls erfolgt in den Festkörperelementen 14 durch die induzierten thermischen Linsen und durch den Strahlungseffekt durch Verstärkung (gain guiding effect). Auf diese Weise arbeiten die nachgeschalteten Verstärkersysteme ähnlich wie gefaltete Linsenwellenleiter, mit den bekannten strahlführenden Eigenschaften. Die Zahl der nachgeschalteten Verstärkersysteme ist also praktisch nicht begrenzt. Durch die in Fig. 6 gewählte spiegelbildliche Anordnung der Verstärkersysteme wird eine gemeinsame Kühlung 2 der laseraktiven Festkörper ermöglicht. Die oberen und die unteren Verstärkersysteme sind durch den Umlenkspiegel 20 aneinander gekoppelt. Alternativ wird vorgeschlagen die Ankopplung mit Hilfe eines Wellenleiters durchzuführen. Letzteres empfiehlt sich, wenn mehrere Einheiten von zusammengefaßten Subsystemen aneinandergeschaltet werden. Es wird erwartet, daß mit einer derartigen Anordnung 60–90% der Diodenleistung in Laserleistung umgewandelt werden können. Bei einer Ankopplung von 100 Dioden sollte also im Grundnodebetrieb eine Ausgangsleistung von 1 kW möglich sein, wobei eine derartige Anordnung ohne die Diodenlaser in einem Volumen von 10 bis 20 cm<sup>3</sup> untergebracht werden könnte.

#### Patentansprüche

1. Laserverstärkersystem mit laseraktivem Festkörpermateriale, das durch Pumplichtquellen ge-

- Leerseite -

darin, daß zum Zweck der Frequenzverdopplung oder Verdreifachung ein oder mehrere nichtlineare optische Elemente 11 oder oder andere optische Funktionselemente in den Strahlengang eingebracht werden.

Fig. 2 zeigt das Schemabild eines Ausführungsbeispiels, bei dem das Laserverstärkersystem durch Spiegel 12 und 13 so ergänzt wird, daß ein Ringresonator entsteht. Vorteil dieser Anordnung ist, daß das bei einem Resonator mit Endspiegeln auftretende sog. "spatial hole-bourning" vermieden wird. Das Element 21 stellt eine optische Diode dar.

Fig. 3 zeigt das Schemabild eines Ausführungsbeispiels, bei dem die Platte 1 in einzelne kleine Plättchen 14 aufgeteilt ist, die durch eine Trägerplatte 15 gehalten werden. Letztere wird bevorzugt aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit erstellt, um auch die seitlichen Flächen der Plättchen zu kühlen. Vorteil dieser Anordnung ist, daß eine geringere Menge des teuren laseraktiven Materials benötigt wird. Außerdem kann bei der Herstellung der kleinen Plättchen eine größere optische Homogenität garantiert werden.

Als zusätzliche Weiterbildung wird vorgeschlagen, das laseraktive Material abhängig von dessen Wärmeleitfähigkeit auch an der Oberseite zu kühlen, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist.

Weiter wird vorgeschlagen, abhängig von den Materialeigenschaften das System dahingehend zu vereinfachen, daß auf die direkte Flüssigkeitskühlung des laseraktiven Materials verzichtet wird. Fig. 4 zeigt das Schemabild eines Ausführungsbeispiels, bei dem die Plättchen 14 an der Unterseite in wärmeleitenden Kontakt mit einer Trägerplatte 16 gebracht sind, die von Kühlkanälen 17 durchzogen ist.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung wird einerseits erreicht, daß das laseraktive Material dünn gehalten werden kann und die Wärmeableitung unmittelbar an den Absorptionsstellen des Pumpstrahls nahezu über die gesamte Oberfläche der Platte 1 bzw. der Plättchen 14 erfolgen kann. Gleichzeitig wird vermieden, daß die Absorption der gesamten Pumpleistung in einem zusammenhängenden Volumenbereich erfolgt, der deshalb schwer zu kühlen ist, wie dies bei herkömmlichen frontal gepumpten Lasersystemen der Fall ist. Letzteres gilt auch für die bereits erwähnte Europäische Patentanmeldung 0 632 551 A1, wenn auch hier die Absorption in einem sehr kleinen Volumenbereich erfolgt. Praktisch wird bei der erfindungsgemäßen Anordnung der Temperaturgradient und damit auch die Temperatur in den Plättchen gegenüber der 0 632 551 A1 um einen Faktor gesenkt, welcher der Anzahl der durchstrahlten Fokalebereiche entspricht. Dies ist insbesondere im Falle von 3-Niveau oder Quasi-3-Niveau Lasern von entscheidender Bedeutung für die Effizienz der Leistungsumwandlung, da hier das untere Laserniveau thermisch besetzt ist. Außerdem läßt sich die Anordnung der Reflexionspiegel in einer Reihe technisch leichter realisieren und justieren als deren räumliche Anordnung, wie sie z. B. in Fig. 28 der Schrift 0 632 551 A1 benutzt wird. Auf die thermische Linsenwirkung des laseraktiven Materials wird bewußt nicht verzichtet, wie dies im Hauptanspruch und in der Beschreibung Absatz 3 der Schrift 0 632 551 A1 ausdrücklich durch die Forderung geschieht, daß sich das Laserstrahlungsfeld nahezu parallel zum Temperaturgradienten ausbreiten soll. Im Gegenteil, es ist vorgesehen, die in der Platte 1 bzw. den Plättchen 14 durch die Pumpstrahlung, die thermische Dispersion des Brechungskoeffizienten und die thermische Verformung induzierte thermische Linse und deren fokussie-

rende Wirkung auf den Laserstrahl und dessen Durchmesser so anzupassen, daß innerhalb der Fokalebereiche eine optimale Überlappung zwischen dem Pump- und dem Laserstrahl bzw. dem transversalen Grundmode des Resonators erreicht wird. Diese Anpassung wird durch die Wahl der Dicke und des Absorptionskoeffizienten der Platte bzw. der Plättchen erreicht, was bei der vorliegenden Anordnung eine sehr feine Abstimmung ermöglicht. Die Benutzung der thermischen Linsenwirkung hat den Vorteil, daß die Flächen 3 und 5, zwischen denen der Laserstrahl hin- und herreflektiert wird, exakt eben ausgebildet werden können, wodurch der Justieraufwand erheblich reduziert wird. Sollte für gewisse Lasermaterialien die fokussierende Wirkung der thermischen Linsen nicht ausreichen, so wird vorgeschlagen diese durch die Benutzung gewölbter anstatt ebener Resonatorspiegel 9 und 10 bzw. 12 und 13 zu verstärken. Sollte eine weitere Bündelung des Laserstrahls notwendig sein, so wird vorgeschlagen, die Reflexionsflächen 3 und 5 im Bereich der Auftreffstellen des Laserstrahls in geeigneter Weise zu wölben, um auf diese Weise eine zusätzliche fokussierende Wirkung auf den Laserstrahl auszuüben.

Fig. 5 zeigt eine Anordnung, bei der zwei entsprechend Fig. 1 ausgebildete Laserverstärkersysteme zu einem Laser mit Frequenzverdopplung zusammengeköpelt sind. Das System ist in der Lage, mit Hilfe derzeit zur Verfügung stehenden Laserdioden etwa 40 bis 50 Watt Ausgangsleistung zu liefern.

Fig. 6 zeigt eine Anordnung, bei der sechs der oben beschriebenen Systeme gekoppelt sind. Von diesen ist das System links oben mit Hilfe der Spiegel 18 und 19 als Laser ausgebildet, die übrigen arbeiten als Laserverstärker, indem sie den durch den Spiegel 19 ausgekoppelten Strahl verstärken. Dies hat den Vorteil, daß sich der Justieraufwand der Anordnung reduziert, da der Strahl nicht die gesamte Anordnung mehrfach durchläuft wie bei einer Resonatoranordnung. Die Führung des aus dem als Laser arbeitenden Teilsystem austretenden Strahls erfolgt in den Festkörperelementen 14 durch die induzierten thermischen Linsen und durch den Strahlungseffekt durch Verstärkung (gain guiding effect). Auf diese Weise arbeiten die nachgeschalteten Verstärkersysteme ähnlich wie gefaltete Linsenwellenleiter, mit den bekannten strahlführenden Eigenschaften. Die Zahl der nachgeschalteten Verstärkersysteme ist also praktisch nicht begrenzt. Durch die in Fig. 6 gewählte spiegelbildliche Anordnung der Verstärkersysteme wird eine gemeinsame Kühlung 2 der laseraktiven Festkörper ermöglicht. Die oberen und die unteren Verstärkersysteme sind durch den Umlenkspiegel 20 aneinander gekoppelt. Alternativ wird vorgeschlagen die Ankopplung mit Hilfe eines Wellenleiters durchzuführen. Letzteres empfiehlt sich, wenn mehrere Einheiten von zusammengefaßten Subsystemen aneinandergeschaltet werden. Es wird erwartet, daß mit einer derartigen Anordnung 60—90% der Diodenleistung in Laserleistung umgewandelt werden können. Bei einer Ankopplung von 100 Dioden sollte also im Grundnodebetrieb eine Ausgangsleistung von 1 kW möglich sein, wobei eine derartige Anordnung ohne die Diodenlaser in einem Volumen von 10 bis 20 cm<sup>3</sup> untergebracht werden könnte.

#### Patentansprüche

1. Laserverstärkersystem mit laseraktivem Festkörpermateriale, das durch Pumplichtquellen ge-

pumpt wird, dadurch gekennzeichnet, daß einer oder mehrere Pumpstrahlen mit Hilfe von Spiegeln oder anderen optischen Hilfsmitteln so geführt werden, daß jeder einzelne Pumpstrahl mehrmals auf unterschiedliche Stellen des Festkörpermateri- als fokussiert wird, wobei letzteres in Form eines zusammenhängenden oder getrennter Festkörper vorliegt, die so gestaltet sind, daß der Pumpstrahl in den Fokalbereichen und nur in diesen absorbiert wird, wodurch letztere optisch gepumpt werden, und daß der Laserstrahl so umgelenkt und geführt wird, daß er all diese Fokalbereiche durchstrahlt und auf diese Weise verstärkt wird.

2. Laserverstärkersystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeder der Pumpstrahlen durch Hohlspiegel (6) oder Linsen (7), deren optische Achsen in einer Ebene nebeneinander angeordnet sind, auf eine senkrecht zu deren Achsen angeordnete reflektierende Fläche (3) fokussiert wird, wobei der Auftreffwinkel so gewählt wird, daß der Pumpstrahl zickzackförmig zwischen den Hohlspiegeln und besagter Fläche hin- und herreflektiert wird und durch das in den Fokalbereichen befindliche laseraktive Material absorbiert wird.

3. Laserverstärkersystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine der Begrenzungsflächen des laseraktiven Materials mit der reflektierenden Fläche 3 zusammenfällt.

4. Laserverstärkersystem nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl zwischen zwei parallel angeordneten reflektierenden Flächen zickzackförmig hin- und herreflektiert wird.

5. Laserverstärkersystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine der Reflexionsflächen für den Laserstrahl mit der Reflexionsfläche (3) für die Pumpstrahlen identisch ist.

6. Laserverstärkersystem nach Anspruch 4 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß sich die zweite Reflexionsfläche (5) für den Laserstrahl zwischen der ersten Reflexionsfläche (3) und den fokussierenden Elementen (6) befindet und daß diese zweite Reflexionsfläche für das Pumplicht hochtransparent ist.

7. Laserverstärkersystem nach Ansprüchen 4 oder 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Hohlspiegel (6) und die Reflexionsfläche (5) in ein optisches Bauelement (4) integriert sind, indem sie Begrenzungsflächen dieses Elements bilden.

8. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die aus den Fasern (8) austretende Pumpstrahlung durch Linsen (7) auf die Fläche (3) fokussiert wird, diese durchstrahlt und dann durch die Hohlspiegel (6) mehrmals auf die Fläche (3) zurückfokussiert wird.

9. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Festkörper aus unterschiedlichen Materialien bestehen.

10. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Festkörper als Plättchen in oder auf einer gemeinsamen Trägerplatte positioniert sind.

11. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der oder die Festkörper an einer

oder mehreren Begrenzungsflächen durch ein strömendes Medium gekühlt werden oder daß die Kühlung durch Kontakt zu einem anderen Festkörper mit hoher Wärmeleitfähigkeit erfolgt.

12. Laserverstärkersystem nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokalbereiche des Pumplichts unmittelbar an die gekühlten Begrenzungsflächen angrenzen.

13. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Festkörper unterschiedlich dick oder unterschiedlich dotiert sind, mit dem Zweck, daß letztere unabhängig von der Reihenfolge, mit der sie von dem Pumpstrahl durchstrahlt werden, einen gleich großen Anteil der Pumpstrahlung absorbieren.

14. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Reflexionsfläche (5) für den Laserstrahl letzteren nur in den Bereichen reflektiert, welche dessen Auftreffstellen unmittelbar umgeben und daß insbesondere die Bereiche, welche den Fokalbereichen bzgl. der Reflexionsfläche (5) senkrecht gegenüberliegen für den Laserstrahl transparent sind oder diesen absorbieren, um ein Anschwingen von parasitären Moden zu verhindern.

15. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die thermischen Linsen, welche in den Bereichen entstehen, auf die das Pumplicht fokussiert wird, so bemessen werden, daß sie für eine Strahlführung geeignet sind, was durch die Wahl der Dicke des Festkörpermateri- als, der Intensität des ankommenden Pumplichts, des Absorptionskoeffizienten für das Pumplicht, oder durch entsprechende Gestaltung der Kühlanordnung geschieht.

16. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dieses durch Endspiegel so ergänzt wird, daß ein optischer Resonator entsteht.

17. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß dieses durch Spiegel so ergänzt wird, daß ein Ringresonator entsteht.

18. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die entstehenden thermischen Linsen so bemessen werden, daß nur der transversale Grundmode des Resonators anschwingt.

19. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in den Strahlengang ein Material zur Frequenzverdopplung oder Verdreifachung eingebracht wird.

20. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführung des Pumplichts über Glasfasern erfolgt.

21. Laserverstärkersystem nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Systeme mit Hilfe von Spiegeln oder anderen Hilfsmitteln optisch zusammengeschaltet werden.

22. Laserverstärkersystem nach Anspruch 16 oder 17 und 21, dadurch gekennzeichnet, daß nur eines



der zusammengeschalteten Verstärkersysteme als Laser ausgebildet ist, während die übrigen den aus diesem Laser austretenden Strahl verstärken.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

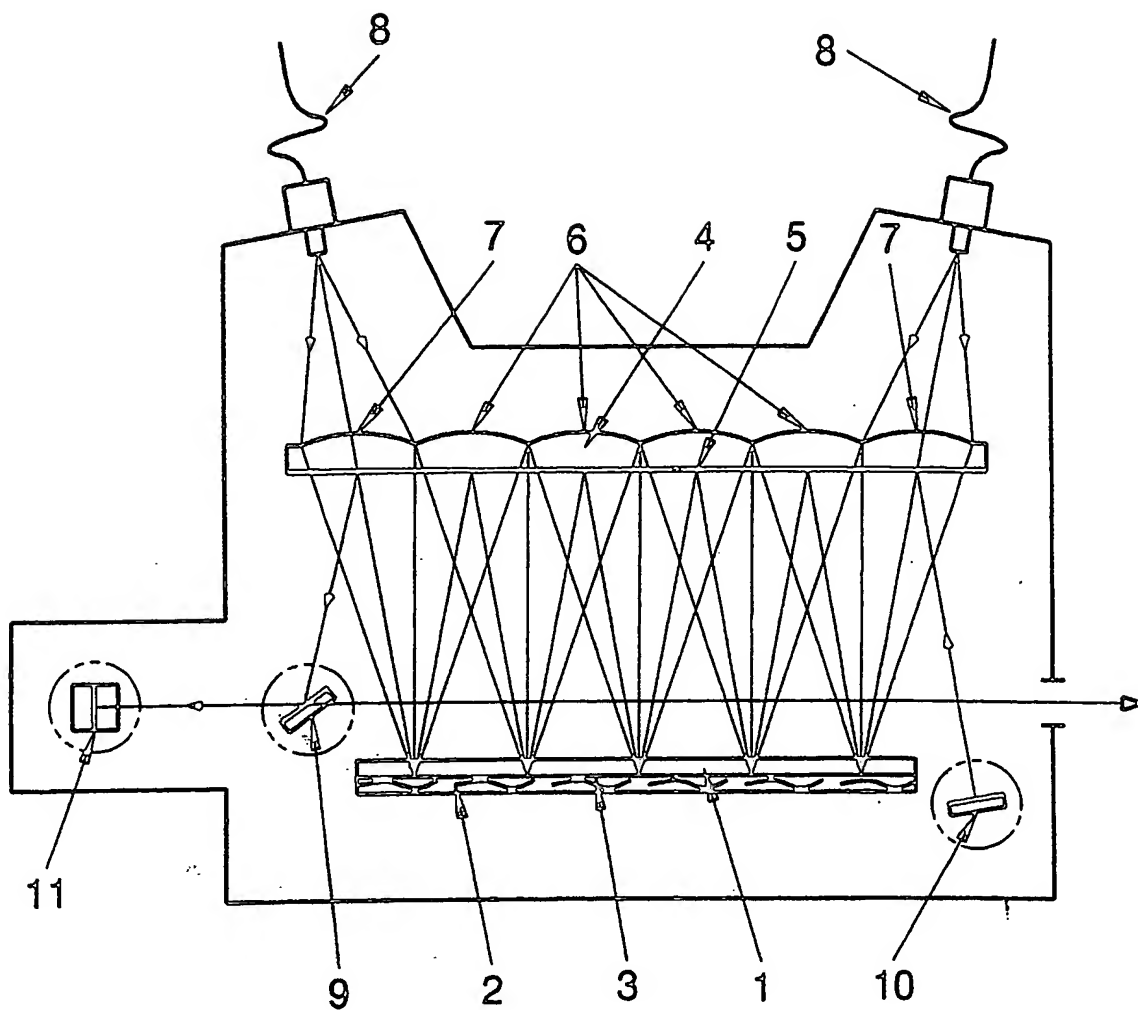


Fig.1

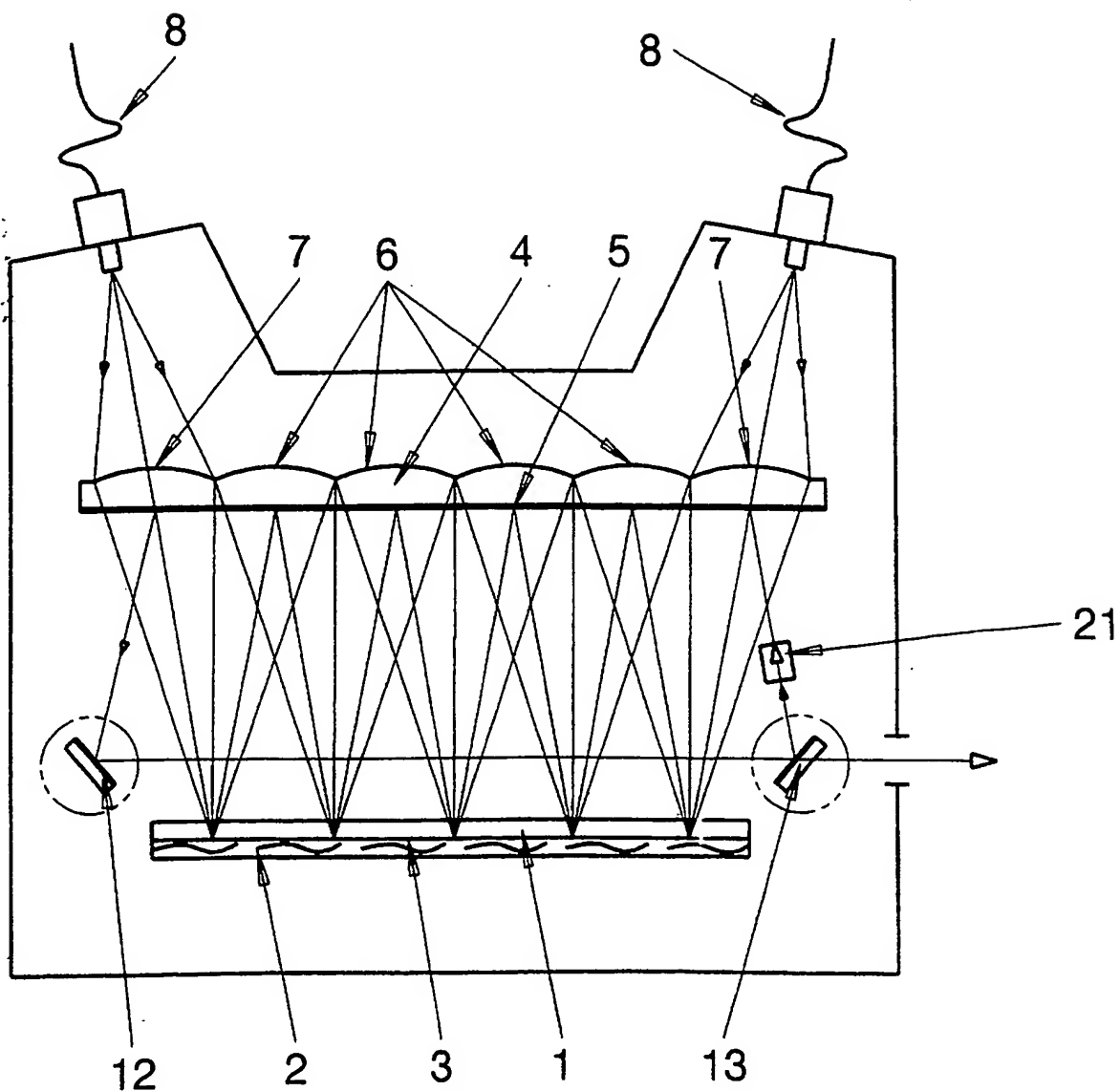


Fig.2

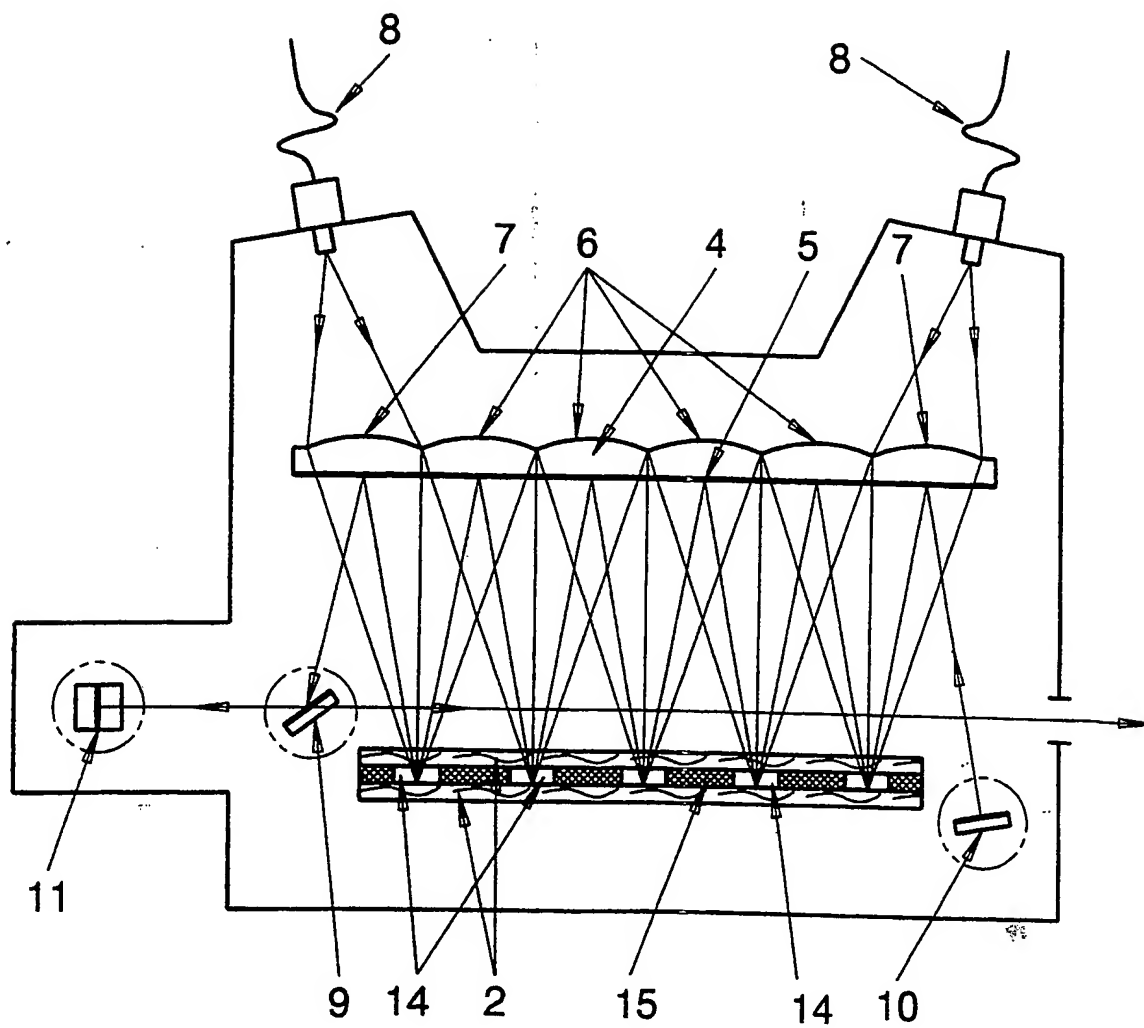


Fig.3

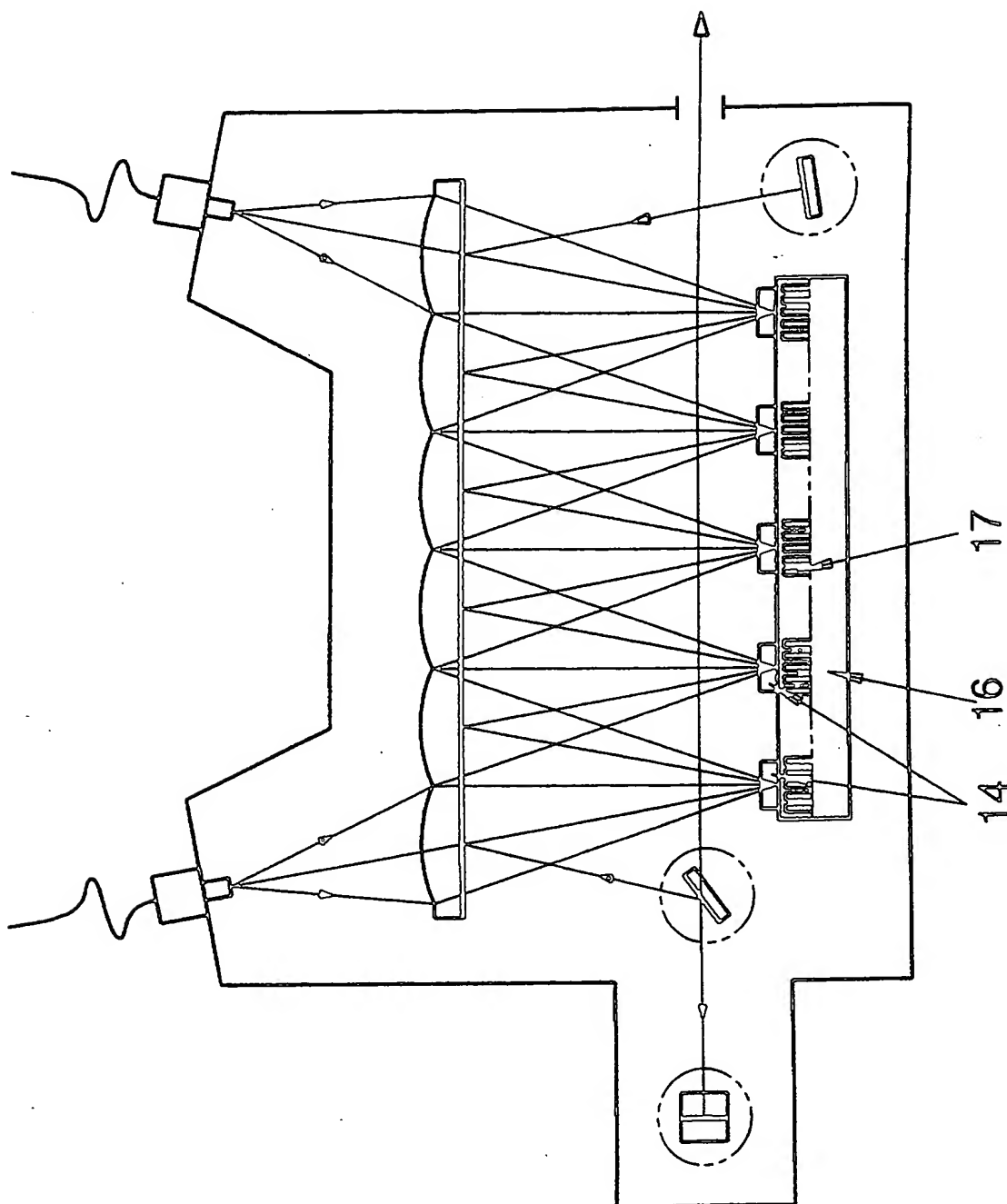


Fig. 4

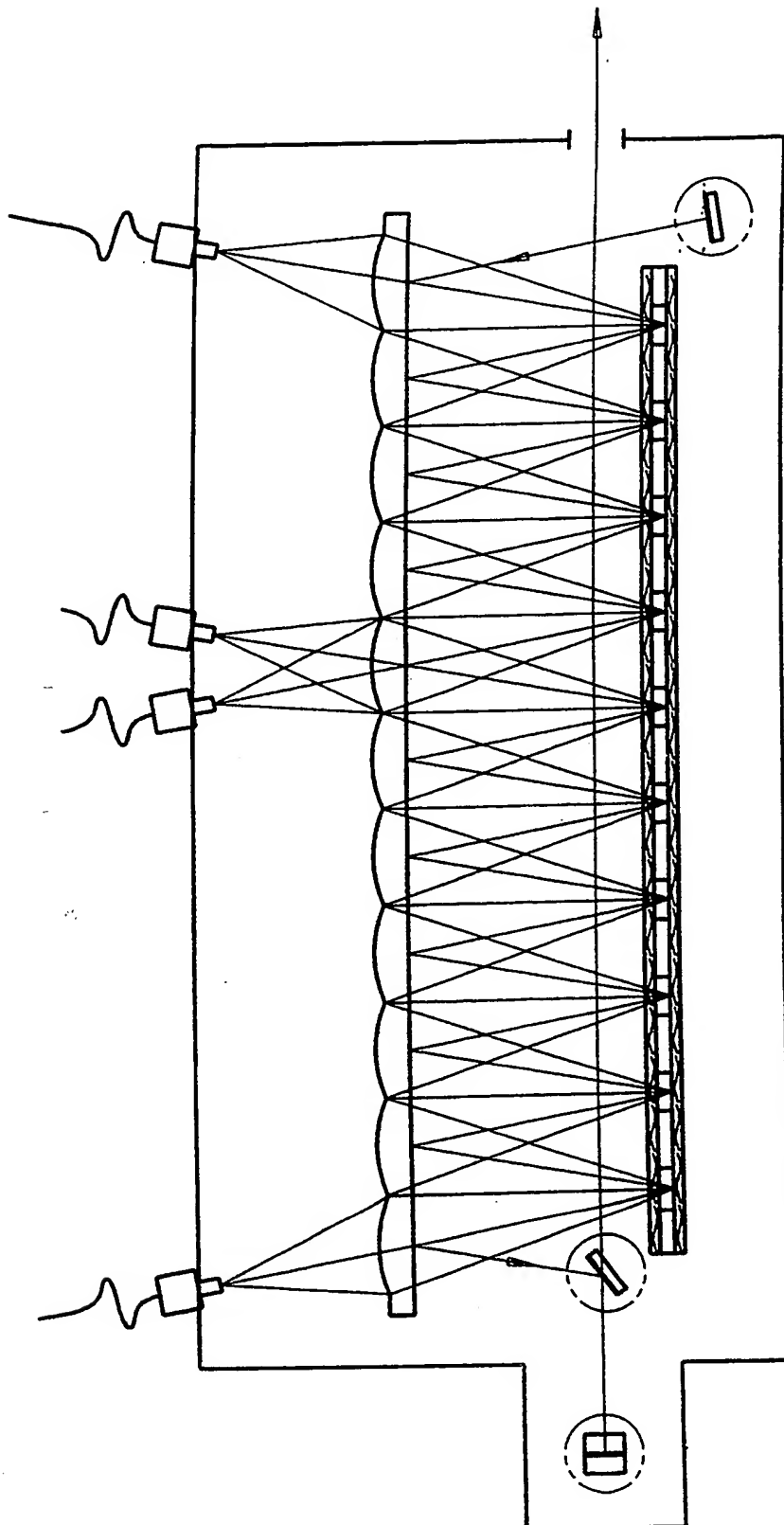


Fig.5

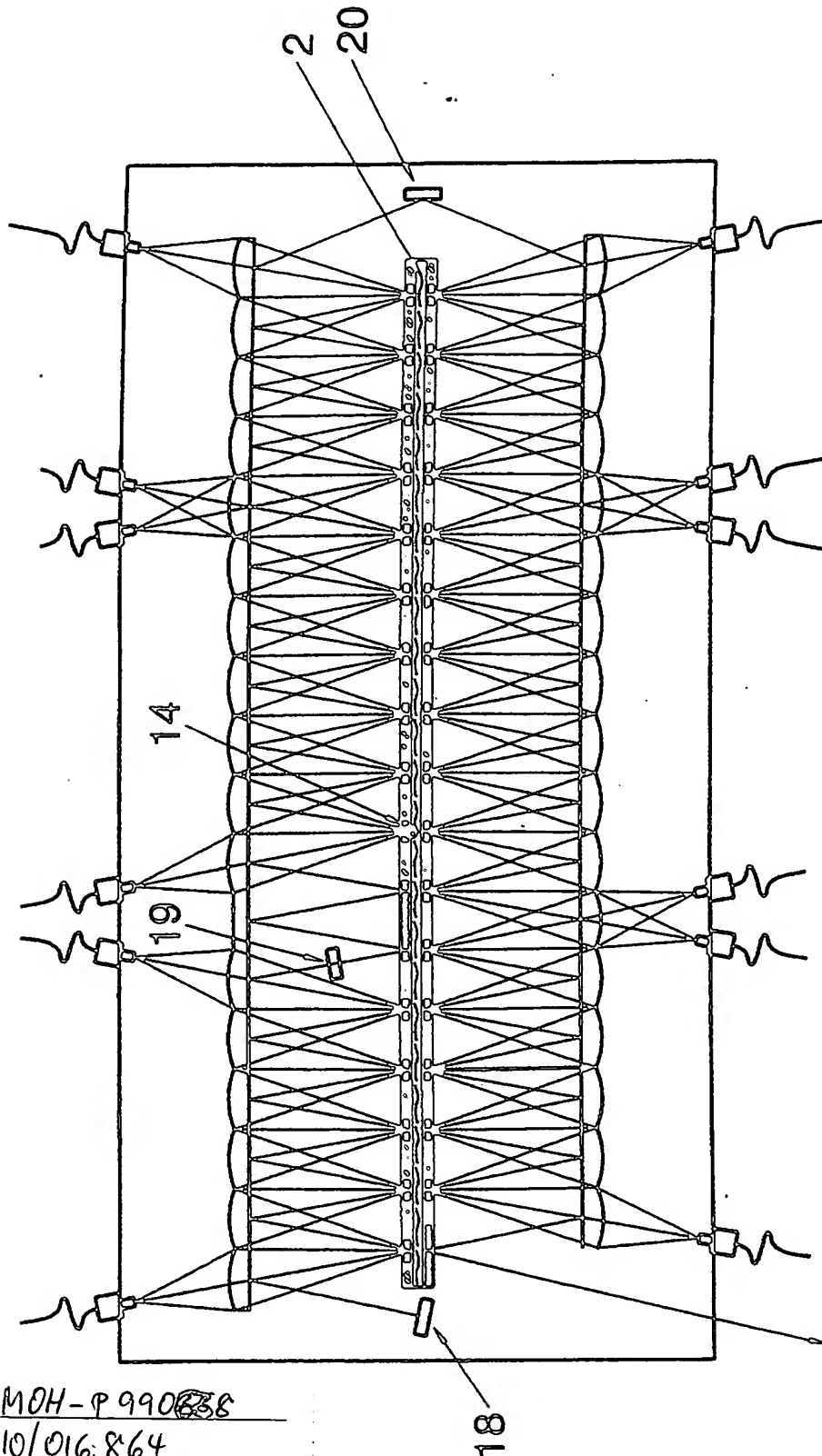


Fig. 6

Docket # MOH-P 990638

Applic. # 10/016,864

Applicant: Ludewigt et al.

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101